

**STAGE DEVICE AND ITS DAMPING METHOD AND PROJECTION ALIGNER**

Publication number: JP2002198285 (A)

Publication date: 2002-07-12

Inventor(s): TAKAHASHI MASATO

Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK

Classification:

- International: G03F7/22; G03F7/20; G03F9/02; H01L21/027; H01L21/68; G03F7/22; G03F7/20; G03F9/02; H01L21/02; H01L21/67; (IPC1-7): H01L21/027; G03F7/22; G03F9/02; H01L21/68

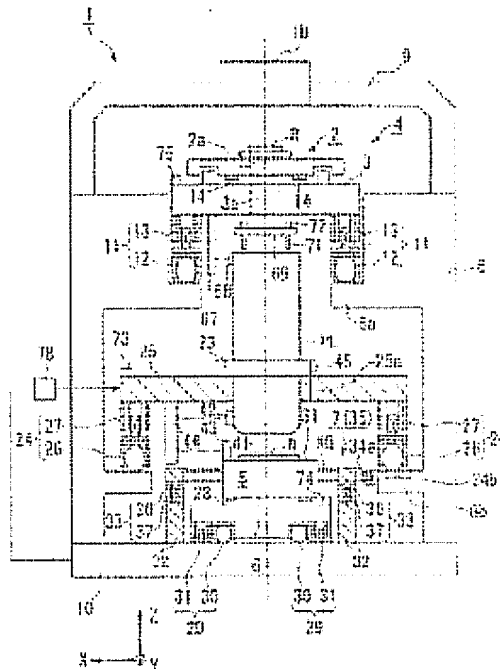
- European: G03F7/20T26

Application number: JP20000393837 20001225

Priority number(s): JP20000393837 20001225

**Abstract of JP 2002198285 (A)**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To contribute to improvement in exposure accuracy. **SOLUTION:** The pattern of a mask R is projected onto a substrate W by a projection optical system PL for exposure. There are detection devices 73 and 74, and a drive control device. The detection devices 73 and 74 detect the relative speed between the projection optical system PL regarding the direction of nearly an optical axis of the projection optical system PL, and the substrate W. In the drive control device, based on a result detected by the detection devices 73 and 74, at least the substrate W is followed in the optical axis direction to the projection optical system PL for drive.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-198285  
(P2002-198285A)

(43) 公開日 平成14年7月12日 (2002.7.12)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 3 F 7/22	H 5 F 0 3 1
G 0 3 F 7/22		9/02	H 5 F 0 4 6
9/02		H 0 1 L 21/68	K
H 0 1 L 21/68		21/30	G 0 3 F
			G 0 3 A

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-393837(P2000-393837)

(22) 出願日 平成12年12月25日 (2000. 12. 25)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 高橋 正人

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外5名)

Fターム(参考) 5F031 CA02 CA05 CA07 HA02 HA13

HA53 HA55 JA01 JA02 JA06

JA14 JA17 JA32 JA45 JA51

KA06 KA08 LA03 LA04 LA07

LA08 MA27 NA02

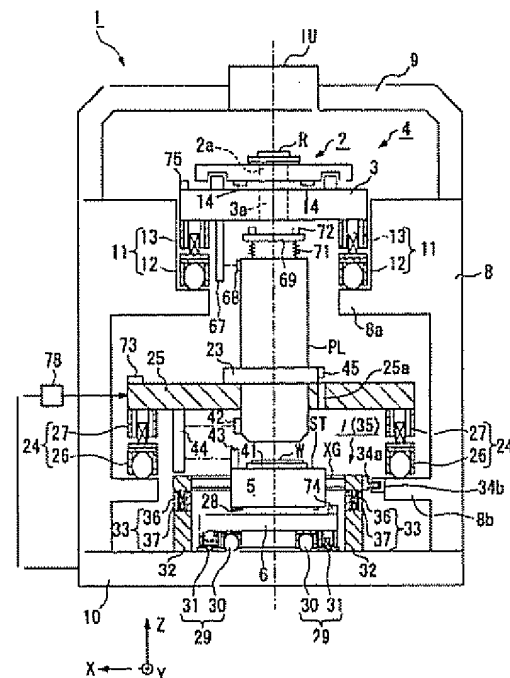
5F046 AA23 CC13 CC18

(54) 【発明の名称】 ステージ装置およびその制御方法並びに露光装置

(57) 【要約】

【課題】 露光精度の向上に寄与する。

【解決手段】 マスクRのパターンを投影光学系PLにより基板Wに投影露光する。投影光学系PLの略光軸方向に関する投影光学系PLと基板Wとの相対速度を検出する検出装置73、74と、検出装置73、74の検出結果に基づいて少なくとも基板Wを投影光学系PLに対して光軸方向に追従駆動させる駆動制御装置とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 定盤上を駆動されるステージ本体を有するステージ装置に対して前記定盤に推力を付与して制振する方法であって、  
前記定盤を加振した際の前記ステージ装置における重心位置と慣性主軸とを検出し、検出した前記重心位置と前記慣性主軸とに基づいて前記推力を補正することを特徴とするステージ装置の制振方法。

【請求項2】 請求項1記載のステージ装置の制振方法において、  
前記ステージ本体を駆動することで前記定盤を加振することを特徴とするステージ装置の制振方法。

【請求項3】 請求項1または請求項2記載のステージ装置の制振方法において、  
前記定盤に対する前記ステージ本体の位置に応じた前記重心位置と前記慣性主軸とを検出することを特徴とするステージ装置の制振方法。

【請求項4】 定盤上を駆動されるステージ本体と、  
前記定盤に推力を付与する推力付与装置とを備えたステージ装置であって、  
前記定盤が加振された際の前記ステージ装置における重心位置と慣性主軸とを検出する検出装置と、  
該検出装置の検出結果に基づいて前記定盤に付与する推力を補正する補正装置とを有することを特徴とするステージ装置。

【請求項5】 請求項4記載のステージ装置において、  
前記推力は、前記重心位置に向けて付与されることを特徴とするステージ装置。

【請求項6】 定盤上を駆動されるステージ本体を備えたステージ装置であって、  
固定子および可動子を有し、前記ステージ本体を駆動する駆動装置と、  
前記定盤に対して振動的に独立して配設された支持部と、  
該支持部と前記固定子との間に介装され、前記ステージ本体の移動により前記固定子に発生する反力を前記支持部に伝達する反力伝達装置とを備え、  
該反力伝達装置は、E型コアとI型コアとの結合によるE Iコアを有することを特徴とするステージ装置。

【請求項7】 請求項6記載のステージ装置において、  
前記E型コアと前記I型コアとの相対位置を計測する計測装置と、  
該計測装置の計測結果に基づいて前記E Iコアの駆動を制御する制御装置とを有することを特徴とするステージ装置。

【請求項8】 定盤上を駆動されるステージ本体と、  
前記定盤に推力を付与する推力付与装置とを備えたステージ装置であって、

前記ステージ本体の位置に応じた前記定盤の振動特性を記憶する記憶装置と、  
前記定盤の振動特性を検出する振動検出装置と、  
該振動検出装置の検出結果と前記記憶装置の記憶内容とに基づいて前記推力付与装置の駆動を制御する制御装置とを有することを特徴とするステージ装置。

【請求項9】 請求項8記載のステージ装置において、  
前記記憶装置は、前記ステージ本体が駆動された際の前記定盤の振動特性を記憶することを特徴とするステージ装置。

【請求項10】 マスクステージに保持されたマスクのパターンを基板ステージに保持された基板に露光する露光装置において、  
前記マスクステージと前記基板ステージとの少なくとも一方のステージとして、請求項4から請求項9のいずれか1項に記載されたステージ装置が用いられることを特徴とする露光装置。

【請求項11】 マスクのパターンを投影光学系により基板に投影露光する露光装置において、  
前記投影光学系の略光軸方向に関する該投影光学系と前記基板との相対速度を検出する検出装置と、  
該検出装置の検出結果に基づいて少なくとも前記基板を前記投影光学系に対して前記光軸方向に追従駆動させる駆動制御装置とを備えることを特徴とする露光装置。

【請求項12】 請求項11記載の露光装置において、  
前記検出装置は、前記投影光学系に加わる加速度と前記基板に加わる加速度とを演算処理して前記相対速度を検出することを特徴とする露光装置。

【請求項13】 請求項11記載の露光装置において、  
前記検出装置は、前記光軸方向における前記投影光学系と前記基板との相対位置を演算処理して前記相対速度を検出することを特徴とする露光装置。

【請求項14】 請求項11から請求項13のいずれか1項に記載の露光装置において、  
前記基板を保持して移動するステージと、該ステージを移動自在に支持する定盤とを備え、  
前記検出装置は、前記定盤を介して前記相対速度を検出することを特徴とする露光装置。

【請求項15】 請求項10から請求項14のいずれか1項記載の露光装置において、  
前記露光装置は、前記マスクと前記基板とを走査して前記パターンを前記基板に露光する走査型露光装置であることを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マスクや基板等の試料を保持するステージ本体が移動するステージ装置、

およびこのステージ装置における振動を制御するための制振方法、並びにステージ装置に保持されたマスクと基板とを用いて露光処理を行う露光装置に関し、特に半導体集積回路や液晶ディスプレイ等のデバイスを製造する際に、リソグラフィ工程で用いて好適なステージ装置およびその制振方法並びに露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、半導体デバイスの製造工程の1つであるリソグラフィ工程においては、マスク又はレチクル（以下、レチクルと称する）に形成された回路パターンをレジスト（感光剤）が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に転写する種々の露光装置が用いられている。

【0003】例えば、半導体デバイス用の露光装置としては、近年における集積回路の高集積化に伴うパターンの最小線幅（デバイスルール）の微細化に応じて、レチクルのパターンを投影光学系を用いてウエハ上に縮小転写する縮小投影露光装置が主として用いられている。

【0004】この縮小投影露光装置としては、レチクルのパターンをウエハ上の複数のショット領域（露光領域）に順次転写するステップ・アンド・リピート方式の静止露光型の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、このステッパを改良したもので、特開平8-166043号公報等に開示されるようなレチクルとウエハとを一次元方向に同期移動してレチクルパターンをウエハ上の各ショット領域に転写するステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）が知られている。

【0005】これらの縮小投影露光装置においては、ステージ装置として、床面に先ず装置の基準になるベースプレートが設置され、その上に床振動を遮断するための防振台を介してレチクルステージ、ウエハステージおよび投影光学系（投影レンズ）等を支持する本体コラムが載置されたものが多く用いられている。最近のステージ装置では、前記防振台として、内圧が制御可能なエアマウントやボイスコイルモータ等のアクチュエータ（推力付与装置）を備え、本体コラム（メインフレーム）に取り付けられた、例えば6個の加速度計の計測値に基づいて前記ボイスコイルモータ等の推力を制御することにより本体コラムの振動を制御するアクティブ防振台が採用されている。

【0006】ところで、上記のステッパやスキャニング・ステッパは、ウエハ上のあるショット領域に対する露光の後、他のショット領域に対して順次露光を繰り返すものであるから、ウエハステージ（ステッパの場合）、あるいはレチクルステージおよびウエハステージ（スキャニング・ステッパの場合）の加速、減速運動によって生じる反力が本体コラムの振動要因となって、投影光学系とウエハ等との相対位置誤差を生じさせ、ウエハ上で設計値と異なる位置にパターンが転写されたり、その位

置誤差に振動成分を含む場合には像ボケ（パターン線幅の増大）を招く原因になるという不都合があった。

【0007】そこで、従来、上記のようなアクティブ防振台では、定盤上をステージ本体が移動する際に定盤に加わる反力による振動を、予め計算された装置のパラメータ、例えばボディ重心、慣性主軸、サーボゲイン、非干渉化ブロック等を用いてボディの動特性を制御することで、上述した不都合を抑制していた。また、例えば特開平8-166475号公報等に記載されるように、ウエハステージの移動により発生する反力を定盤に対して振動的に独立して配設されたフレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がす発明や、例えば特開平8-330224号公報等に記載されるように、レチクルステージの移動により発生する反力を定盤に対して振動的に独立して配設されたフレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がす発明が上記の不都合を改善するものとして知られている。

【0008】さらに、従来では投影光学系と例えばウエハを移動させるステージ装置とが一体化した構成が採用され、これらの振動がほぼ追従する構成であったが、近年では、これらを独立して設置し、個々にアクティブ防振台を設け振動を制御することで、ステージの移動に起因する振動が投影光学系に伝達されることを抑制する方式が検討されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述したような従来のステージ装置およびその制振方法並びに露光装置には、以下のような問題が存在する。近時においては、半導体デバイスの微細化や露光処理の高速化の要請が益々高まってきており、この要請に応えることができるステージ装置および露光装置が強く要望されている。ところが、予めコンピュータ等で計算されたパラメータを用いてステージ装置の振動を制御していても実機と計算値とでは若干の差異があるため、どうしてもボディ振動の残留振動が計算値よりも悪くなり、露光精度の向上に支障を来すという問題があった。

【0010】また、投影光学系とウエハ等との相対位置誤差を抑制するために、近年ではレーザ干渉計等により計測されたステージの位置をフィードバック制御する、いわゆる位置制御方式に比較して制御性が優れていることからステージの速度をフィードバック制御する、いわゆる速度制御方式が採用されている。ところが、この場合、ステージ装置単体の振動を高精度に制御しても投影光学系が振動してしまうとこれらの追従制御が充分に実施できず、投影光学系とウエハ等との相対位置を維持できないという問題があった。

【0011】また、露光精度の向上のためには、ウエハステージが所望の位置に位置決めされ十分に安定されるのを待ってアライメント動作や露光動作を開始したり、スキャニング・ステッパの場合には、レチクルステージ

とウエハステージとの同期整定を十分に確保した状態で露光を行う等、上記のアクティブ防振台等により本体コラムの振動を十分に減衰させることが考えられる。ところが、この場合スループット（生産性）を悪化させる要因となるため、現実的ではなかった。例えばウエハステージはショット領域の位置に応じて定盤上を移動するが、このウエハステージが定盤の外側で移動するときには回転方向の振動が中央側の振動よりも大きくなり、整定に要する時間が長くなるという問題があった。

【0012】一方、ステージに設けられた可動子が固定子に対して移動すると、固定子には移動に伴う反力が作用するが、この反力をフレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がす際には、固定子とフレーム部材との間にボイスコイルモータ等を介在させることで、固定子の位置を制御しながら反力をフレーム部材に伝達することができる。ところが、この反力は1000Nに達するものもあるため、大型のボイスコイルモータが必要になり、装置の大型化およびコスト上昇を招くという問題があった。

【0013】本発明は、以上のような点を考慮してなされたもので、露光精度の向上に寄与するステージ装置およびその制御方法並びに露光装置を提供することを目的とする。また、本発明の別の目的は、スループットの向上に寄与するステージ装置および露光装置を提供することである。さらに、本発明の別の目的は、装置の小型化に寄与するステージ装置および露光装置を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明は、実施の形態を示す図1ないし図11に対応付けした以下の構成を採用している。本発明のステージ装置の制振方法は、定盤（6）上を駆動されるステージ本体（5）を有するステージ装置（7）に対して定盤（6）に推力を付与して制振する方法であって、定盤（6）を加振した際のステージ装置（7）における重心位置と慣性主軸とを検出し、検出した重心位置と慣性主軸とに基づいて推力を補正することを特徴とするものである。

【0015】従って、本発明のステージ装置の制振方法では、設計上の重心位置と慣性主軸ではなく、実機において定盤（6）を加振したり、シミュレーションにより検出した、定盤（6）を加振した際の実際の重心位置と慣性主軸とに基づいて推力を補正するので、定盤（6）の残留振動を効果的に抑制することができる。

【0016】また、本発明のステージ装置は、定盤（6）上を駆動されるステージ本体（5）と、定盤（6）に推力を付与する推力付与装置（31）とを備えたステージ装置（7）であって、定盤（6）が加振された際のステージ装置（7）における重心位置と慣性主軸とを検出する検出装置（74）と、検出装置（74）の

検出結果に基づいて定盤（6）に付与する推力を補正する補正装置（70）とを有することを特徴とするものである。

【0017】従って、本発明のステージ装置では、設計上の重心位置と慣性主軸ではなく、実機において定盤（6）を加振したり、シミュレーションにより検出した、定盤（6）を加振した際の実際の重心位置と慣性主軸とに基づいて推力を補正するので、定盤（6）の残留振動を効果的に抑制することができる。

【0018】また、本発明のステージ装置は、定盤（6）上を駆動されるステージ本体（5）を備えたステージ装置（7）であって、固定子（35a）および可動子を有し、ステージ本体（5）を駆動する駆動装置（35）と、定盤（6）に対して振動的に独立して配設された支持部（8）と、支持部（8）と固定子（35a）との間に介装され、ステージ本体（5）の移動により固定子（35a）に発生する反力を支持部（8）に伝達する反力伝達装置（34）とを備え、反力伝達装置（34）は、E型コアとI型コアとの結合によるE Iコアを有することを特徴とするものである。

【0019】従って、本発明のステージ装置では、E Iコアがボイスコイルモータと比較して1.5倍程度の推力を出力できることから、同じ推力を出力するには2/3程度の大きさのE Iコアで反力を支持部（8）に伝達することができ、装置の小型化が実現する。

【0020】また、本発明のステージ装置は、定盤（6）上を駆動されるステージ本体（56）と、定盤（6）に推力を付与する推力付与装置（31）とを備えたステージ装置（7）であって、ステージ本体（5）の位置に応じた定盤（6）の振動特性を記憶する記憶装置（76）と、定盤（6）の振動特性を検出する振動検出装置（74）と、振動検出装置（74）の検出結果と記憶装置（76）の記憶内容とに基づいて推力付与装置（31）の駆動を制御する制御装置（70）とを有することを特徴とするものである。

【0021】従って、本発明のステージ装置では、ステージ本体（5）の位置に応じて発生する残留振動等の振動特性を予め把握できるので、振動検出装置（74）が検出した振動特性に基づいて、定盤（6）に発生する振動特性を推定することが可能になる。そのため、定盤（6）の残留振動をフィードフォワード制御で減衰させることができるので、整定までに要する時間を短くすることができる。

【0022】また、本発明の露光装置は、マスクステージ（2）に保持されたマスク（R）のパターンを基板ステージ（5）に保持された基板（W）に露光する露光装置（1）において、マスクステージ（2）と基板ステージ（5）との少なくとも一方のステージとして、請求項4から請求項9のいずれか1項に記載されたステージ装置（7）が用いられることを特徴とするものである。

【0023】従って、本発明の露光装置では、マスク(R)または基板(W)を移動させた際の定盤(6)の残留振動を効果的に抑制することができるとともに、小型のステージ装置(7)によりマスク(R)または基板(W)を移動させることができる。また、ステージ(5)の位置決め時にも整定時間を短くすることができるため、スループットを向上させることができる。

【0024】また、本発明の露光装置は、マスク(R)のパターンを投影光学系(PL)により基板(W)に投影露光する露光装置(1)において、投影光学系(PL)の略光軸方向に関する投影光学系(PL)と基板(W)との相対速度を検出する検出装置(73、74)と、検出装置(73、74)の検出結果に基づいて少なくとも基板(W)を投影光学系(PL)に対して光軸方向に追従駆動させる駆動制御装置(70)とを備えることを特徴とするものである。

【0025】従って、本発明の露光装置では、例えば投影光学系(PL)が振動した場合でも、検出装置(73、74)が検出した投影光学系(PL)と基板(W)との相対速度を用いた速度制御下で基板(W)を投影光学系(PL)に追従させることができる。そのため、投影光学系(PL)と基板(W)との相対位置を維持してパターンの転写精度を向上させることができる。この場合、基板(W)のみならず投影光学系(PL)を駆動することも可能である。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明のステージ装置およびその制御方法並びに露光装置の実施の形態を、図1ないし図12を参照して説明する。ここでは、例えば露光装置として、レチクルとウエハとを同期移動しつつ、レチクルに形成された半導体デバイスの回路パターンをウエハ上に転写する、スキヤニング・ステッパ(走査型露光装置)を使用する場合の例を用いて説明する。また、この露光装置においては、本発明のステージ装置をウエハステージに適用するものとする。

【0027】図1に示す露光装置1は、光源LS(図2参照)からの露光用照明光によりレチクル(マスク)R上の矩形状(あるいは円弧状)の照明領域を均一な照度で照明する照明光学系IUと、レチクルRを保持して移動するレチクルステージ(マスクステージ)2および該レチクルステージ2を支持するレチクル定盤3を含むステージ装置4と、レチクルRから射出される照明光をウエハ(基板)W上に投影する投影光学系PLと、ウエハWを保持して移動するウエハステージ(基板ステージ、ステージ本体)5および該ウエハステージ5を保持するウエハ定盤(定盤)6を含むステージ装置7と、上記ステージ装置4および投影光学系PLを支持するリアクションフレーム8とから概略構成されている。なお、ここで投影光学系PLの光軸方向をZ方向とし、このZ方向と直交する方向でレチクルRとウエハWの同期移動方向

をY方向とし、非同期移動方向をX方向とする。また、それぞれの軸周りの回転方向を $\theta Z$ 、 $\theta Y$ 、 $\theta X$ とする。

【0028】光源LSとしては、ここでは波長192～194nmの間で酸素の吸収帯を避けるように狭帯化されたパルス紫外光を出力するArFエキシマレーザ光源が用いられており、この光源LSの本体は、半導体製造工場のクリーンルーム内の床面FD上に設置されている。光源LSには、不図示の光源制御装置が併設されており、この光源制御装置では、射出されるパルス紫外光の発振中心波長及びスペクトル半値幅の制御、パルス発振のトリガ制御、レーザチャンバ内のガスの制御等を行うようになっている。なお、光源LSとして、波長248nmのパルス紫外光を出力するKrFエキシマレーザ光源あるいは波長157nmのパルス紫外光を出力するF<sub>2</sub>レーザ光源等用いても良い。また、光源LSをクリーンルームよりクリーン度が低い別の部屋(サービスルーム)、あるいはクリーンルームの床下に設けられるユーティリティスペースに設置しても構わない。

【0029】図2に示すように、光源LSは、図2では作図の都合上その図示が省略されているが、実際には遮光性のベローズ及びパイプを介してビームマッチングユニットBMUの一端(入射端)に接続されており、このビームマッチングユニットBMUの他端(出射端)は、内部にリレー光学系を内蔵したパイプ61を介して照明光学系IUの第1照明光学系IU1に接続されている。ビームマッチングユニットBMU内には、リレー光学系や複数の可動反射鏡等(いずれも不図示)が設けられており、これらの可動反射鏡等を用いて光源LSから入射する狭帯化されたパルス紫外光(ArFエキシマレーザ光)の光路を第1照明光学系IU1との間で位置的にマッチングさせている。

【0030】照明光学系IUは、第1照明光学系IU1と第2照明光学系IU2との2部分から構成されている。第1照明光学系IU1は、床面FDに水平に載置された装置の基準となるフレームキャストと呼ばれるベースプレート10上に設置されている。また、第2照明光学系IU2は、リアクションフレーム(支持部)8の上面に固定された支持コラム9によって下方から支持されている。従って、第1照明光学系IU1とリアクションフレーム8(すなわち第2照明光学系IU2)とは振動的に独立した構成になっている。

【0031】第1照明光学系IU1は、所定の位置関係で配置されたミラー、可変減光器、ビーム成形光学系、オプティカルインテグレータ、集光光学系、振動ミラー、照明系開口絞り板、ビームスプリッタ、リレーレンズ系、及びレチクルブラインド機構を構成する可動視野絞りとしての可動レチクルブラインド(照明領域設定装置)62等を備えている。光源LSからのパルス紫外光がビームマッチングユニットBMU及びリレー光学系を

介して第1照明光学系IU1内に水平に入射すると、このパルス紫外光は、可変減光器のNDフィルタにより所定のピーク強度に調整された後、ビーム整形光学系により、オブティカルインテグレータに効率よく入射するようにその断面形状が整形される。

【0032】次いで、このパルス紫外光がオブティカルインテグレータに入射すると、射出端側に面光源、すなわち多数の光源像（点光源）から成る2次光源が形成される。これらの多数の点光源の各々から発散するパルス紫外光は、照明系開口絞り板28G上のいずれかの開口絞りを通過した後、露光光として可動レチクルブラインド62に到達する。

【0033】可動レチクルブラインド62は、図3に示すように、2枚のL字型の可動ブレードと、この可動ブレードを駆動するアクチュエータ63とを有する。2枚の可動ブレードは、レチクルRの走査方向に対応する方向及び走査方向に直交する非走査方向に対応する方向の位置が可変となっている。この可動レチクルブラインド62は、不要な部分の露光を防止するため、走査露光の開始時及び終了時に可動ブレードにより後述するように固定レチクルブラインドによって規定されるレチクルR上の照明領域を更に制限するために用いられる。この可動レチクルブラインド62の駆動は、調整装置としての後述する主制御装置70によって制御される（図6参照）。

【0034】第2照明光学系IU2は、照明系ハウジング64と、該照明系ハウジング64内に所定の位置関係で収納された固定レチクルブラインド、レンズ、ミラー、リレーレンズ系、メインコンデンサレンズ等（いずれも不図示）を備えている。固定レチクルブラインドは、照明系ハウジング64の入射端近傍のレチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の照明領域を規定する所定形状の開口部が形成されている。この固定レチクルブラインドの開口部は、投影光学系PLの円形視野内の中央で走査露光時のレチクルRの移動方向（Y軸方向）と直交したX軸方向に直線的に伸びたスリット状又は矩形形状に形成されているものとする。

【0035】可動レチクルブラインド62のブレードの開口部を通過したパルス紫外光は、固定レチクルブラインドの開口部を一樣な強度分布で照明する。固定レチクルブラインドの開口部を通ったパルス紫外光は、レンズ、ミラーM3、リレーレンズ系、主コンデンサレンズ系を経て、レチクルステージ2上に保持されたレチクルR上の所定の照明領域（X軸方向に直線的に伸びたスリット状又は矩形形状の照明領域）を均一な照度分布で照明する。ここで、レチクルRに照射される矩形スリット状の照明光は、図2中の投影光学系PLの円形投影視野の中央にX軸方向（非走査方向）に細長く延びるように設定され、その照明光のY軸方向（走査方向）の幅はほぼ

一定に設定されている。

【0036】なお、第1照明光学系IU1と第2照明光学系IU2とを強固に接合すると、可動レチクルブラインド62の駆動に起因して露光動作中に第1照明光学系IU1に生じる振動がリアクションフレーム8に支持された第2照明光学系IU2にそのまま伝達されることとなって、好ましくない。このため、本実施形態では、第1照明光学系IU1と第2照明光学系IU2との間は、両者の相対変位を可能にし、かつその内部を外気に対して気密状態にすることが可能な接続部材としての伸縮自在の蛇腹状部材65を介して接合されている。

【0037】また、第1照明光学系IU1には、第2照明光学系IU2の近傍、具体的には可動レチクルブラインド62の近傍に位置して、光電センサ等の位置センサ（検出装置）66が配置されている。位置センサ66は、可動レチクルブラインド62と第2照明光学系IU2のIU1側の端部（例えば固定レチクルブラインド）との相対距離（相対位置関係）をX軸およびY軸で規定される2次元平面で検出するものであって、その検出結果は主制御装置70に出力される（図6参照）。

【0038】図1に戻り、リアクションフレーム8は、床面に水平に載置されたベースプレート10上に設置されており、その上部側および下部側には、内側に向けて突出する段部8aおよび8bがそれぞれ形成されている。

【0039】ステージ装置4の中、レチクル定盤3は、各コーナーにおいてリアクションフレーム8の段部8aに防振ユニット11を介してほぼ水平に支持されており（なお、紙面奥側の防振ユニットについては図示せず）、その中央部にはレチクルRに形成されたパターン像が通過する開口3aが形成されている。なお、レチクル定盤3の材料として金属やセラミックスを用いることができる。防振ユニット11は、内圧が調整可能なエアマウント12とレチクル定盤3に対して推力を付与するボイスコイルモータ13とが段部8a上に直列に配置された構成になっている。これら防振ユニット11によって、ベースプレート10およびリアクションフレーム8を介してレチクル定盤3に伝わる微振動がマイクロGレベルで絶縁されるようになっている（Gは重力加速度）。

【0040】レチクル定盤3上には、レチクルステージ2が該レチクル定盤3に沿って2次元的に移動可能に支持されている。レチクルステージ2の底面には、非接触ベアリングとして複数のエアベアリング（エアパッド）14が固定されており、これらのエアベアリング14によってレチクルステージ2がレチクル定盤3上に数ミクロン程度のクリアランスを介して浮上支持されている。また、レチクルステージ2の中央部には、レチクル定盤3の開口3aと連通し、レチクルRのパターン像が通過する開口2aが形成されている。また、このレチクル定

盤3上には、枚数（例えば3つ、図1では1つのみ図示）の加速度計75が設けられている。加速度計75の計測結果は後述する主制御装置70に出力される（図6参照）。

【0041】レチクルステージ2について詳述すると、図4に示すように、レチクルステージ2は、レチクル定盤3上を一对のYリニアモータ15、15によってY軸方向に所定ストロークで駆動されるレチクル粗動ステージ16と、このレチクル粗動ステージ16上を一对のXボイスコイルモータ17Xと一对のYボイスコイルモータ17YとによってX、Y、 $\theta Z$ 方向に微小駆動されるレチクル微動ステージ18とを備えた構成になっている（なお、図1では、これらを1つのステージとして図示している）。

【0042】各Yリニアモータ15は、レチクル定盤3上に非接触ベアリングである複数のエアベアリング（エアパッド）19によって浮上支持されY軸方向に延びる固定子20と、この固定子20に対応して設けられ、連結部材22を介してレチクル粗動ステージ16に固定された可動子21とから構成されている。このため、運動量保存の法則により、レチクル粗動ステージ16の+Y方向の移動に応じて、固定子20は-Y方向に移動する。この固定子20の移動によりレチクル粗動ステージ16の移動に伴う反力を相殺するとともに、重心位置の変化を防ぐことができる。

【0043】なお、固定子20は、レチクル定盤3上に代えて、リアクションフレーム8に設けてもよい。固定子20をリアクションフレーム8に設ける場合には、エアベアリング19を省略し、固定子20をリアクションフレーム8に固定して、レチクル粗動ステージ16の移動により固定子20に作用する反力をリアクションフレーム8を介して床に逃がしてもよい。

【0044】レチクル粗動ステージ16は、レチクル定盤3の中央部に形成された上部突出部3bの上面に固定されY軸方向に延びる一对のYガイド51、51によってY軸方向に案内されるようになっている。また、レチクル粗動ステージ16は、これらYガイド51、51に対して不図示のエアベアリングによって非接触で支持されている。

【0045】レチクル微動ステージ18には、不図示のバキュームチャックを介してレチクルRが吸着保持されるようになっている。レチクル微動ステージ18の-Y方向の端部には、コーナキューブからなる一对のY移動鏡52a、52bが固定され、また、レチクル微動ステージ18の+X方向の端部には、Y軸方向に延びる平面ミラーからなるX移動鏡53が固定されている。そして、これら移動鏡52a、52b、53に対して測長ビームを照射する3つのレーザ干渉計（ここではレーザ干渉計67のみ図示）が各移動鏡の反射面と投影光学系PLの鏡筒上端に固定された参照鏡68とに向けてそれぞ

れレーザ光を照射するとともに、その反射光と入射光との干渉に基づいて、移動鏡と参照鏡との相対変位を計測することにより、レチクルステージ2（ひいてはレチクルR）のX、Y、 $\theta Z$ （Z軸回りの回転）方向の位置が所定の分解能、例えば0.5～1nm程度の分解能でリアルタイムに計測される。なお、レチクル微動ステージ18の材質としては、高剛性、且つ低熱膨張率の材料が好ましく、金属やコーセライトまたはSiCからなるセラミックスを用いることができる。

【0046】図1に戻り、投影光学系PLとして、ここでは物体面（レチクルR）側と像面（ウエハW）側の両方がテレセントリックで円形の投影視野を有し、石英や蛍石を光学硝材とした屈折光学素子（レンズ素子）からなる1/4（または1/5）縮小倍率の屈折光学系が使用されている。このため、レチクルRに照明光が照射されると、レチクルR上の回路パターンのうち、照明光で照明された部分からの結像光束が光学系69（後述）を介して投影光学系PLに入射し、その回路パターンの部分倒立像が投影光学系PLの像面側の円形視野の中央にスリット状に制限されて結像される。これにより、投影された回路パターンの部分倒立像は、投影光学系PLの結像面に配置されたウエハW上の複数のショット領域のうち、1つのショット領域表面のレジスト層に縮小転写される。

【0047】この投影光学系PLとレチクルRとの間には、レチクルRを照明して透過した露光光をテレセントリックな平行光束として投影光学系PLに入射する光学系69が配設されている。光学系（例えばガラス）69は、板バネやコイルスプリング等のバネ定数が小さい弾性部材71を介して投影光学系PLの鏡筒に支持されている。また、光学系69の露光光透過領域外には、加速度計（計測装置）72が3つ（図1では2つのみ図示）配置されている。加速度計72は、光学系69に作用する加速度を計測することで、光学系69と投影光学系PLとの相対的な傾き（相対位置関係）を計測するものであって、その計測結果は調整装置としての主制御装置70に出力される（図6参照）。

【0048】一方、投影光学系PLの鏡筒部の外周には、該鏡筒部に一体化されたフランジ23が設けられている。そして、投影光学系PLは、リアクションフレーム8の段部8bに防振ユニット24を介してほぼ水平に支持された鋳物等で構成された鏡筒定盤25に、光軸方向をZ方向として上方から挿入されるとともに、フランジ23に係合している。なお、鏡筒定盤25として、高剛性・低熱膨張のセラミックス材を用いてもよい。

【0049】フランジ23の素材としては、低熱膨張の材質、例えばインバー（Inver；ニッケル36%、マンガン0.25%、および微量の炭素と他の元素を含む鉄からなる低膨張の合金）が用いられている。このフランジ23は、投影光学系PLを鏡筒定盤25に対して



点と面とV溝とを介して3点で支持する、いわゆるキネマティック支持マウントを構成している。このようなキネマティック支持構造を採用すると、投影光学系PLの鏡筒定盤25に対する組み付けが容易で、しかも組み付け後の鏡筒定盤25および投影光学系PLの振動、温度変化等に起因する応力を最も効果的に軽減できるという利点がある。

【0050】防振ユニット24は、鏡筒定盤25の各コーナーに配置され(なお、紙面奥側の防振ユニットについては図示せず)、内圧が調整可能なエアマウント26と鏡筒定盤25に対して推力を付与するボイスコイルモータ27とが段部8b上に直列に配置された構成になっている。これら防振ユニット24によって、ベースプレート10およびリアクションフレーム8を介して鏡筒定盤25(ひいては投影光学系PL)に伝わる微振動がマイクロGレベルで絶縁されるようになっている。

【0051】この鏡筒定盤25上には、複数(例えば3つ、図1では1つのみ図示)の加速度計73がウエハ定盤6との相対速度検出用の検出装置として設けられている。加速度計73の計測結果はウエハステージ5の駆動制御装置としての主制御装置70に出力される(図6参照)。主制御装置70は、加速度計73の出力に基づき防振ユニット24を駆動することで投影光学系PLに対する振動を制御するが、その詳細については後述する。

【0052】ステージ装置7は、図1から明らかなように、ステージ装置4と投影光学系PLとから分離してベースプレート10上に設けられている。ステージ装置7は、ウエハステージ5、このウエハステージ5をXY平面に沿った2次元方向に移動可能に支持するウエハ定盤6、ウエハステージ5と一体的に設けられウエハWを吸着保持する試料台ST、これらウエハステージ5および試料台STを相対移動自在に支持するXガイドバーXGを主体に構成されている。ウエハステージ5の底面には、非接触ベアリングである複数のエアベアリング(エアパッド)28が固定されており、これらのエアベアリング28によってウエハステージ5がウエハ定盤6上に、例えば数ミクロン程度のクリアランスを介して浮上支持されている。

【0053】ウエハ定盤6は、ベースプレート10の上方に、防振ユニット29を介してほぼ水平に支持されている。防振ユニット29は、ウエハ定盤6の各コーナーに配置され(なお、紙面奥側の防振ユニットについては図示せず)、内圧が調整可能なエアマウント30とウエハ定盤6に対して推力を付与するボイスコイルモータ(推力付与装置)31とがベースプレート10上に並列に配置された構成になっている。これら防振ユニット29によって、ベースプレート10を介してウエハ定盤6に伝わる微振動がマイクロGレベルで絶縁されるようになっている。なお、ウエハ定盤6のベースプレート10(床)に対する相対位置は、位置センサ78で検出され

主制御系70に出力される(図6参照)。

【0054】このウエハ定盤6上には、複数(例えば3つ、図1では1つのみ図示)の加速度計74が鏡筒定盤25(投影光学系PL)との相対速度検出用の検出装置、およびウエハ定盤6の振動特性を検出するための振動検出装置として設けられている。加速度計74の計測結果はウエハステージ5の駆動制御装置としての主制御装置70に出力される(図6参照)。主制御装置70は、加速度計74の出力に基づき防振ユニット29を駆動することで投影光学系PLに対する振動を制御するが、その詳細については後述する。

【0055】図5に示すように、XガイドバーXGは、X方向に沿った長尺形状を呈しており、その長さ方向両端には電機子ユニットからなる可動子36、36がそれぞれ設けられている。これらの可動子36、36に対応する磁石ユニットを有する固定子37、37は、ベースプレート10に突設された支持部32、32に設けられている(図1参照、なお図1では可動子36および固定子37を簡略して図示している)。そして、これら可動子36および固定子37によってムービングコイル型のリニアモータ33、33が構成されており、可動子36が固定子37との間の電磁氣的相互作用により駆動されることで、XガイドバーXGはY方向に移動するとともに、リニアモータ33、33の駆動を調整することで $\theta$ Z方向に回転移動する。すなわち、このリニアモータ33によってXガイドバーXGとほぼ一体的にウエハステージ5(および試料台ST、以下単にウエハステージ5と称する)がY方向および $\theta$ Z方向に駆動されるようになっている。なお、ウエハステージ5は、Y方向の移動にはガイド部材を有さないガイドレスステージとなっているが、ウエハステージ5のX方向の移動に関しても適宜ガイドレスステージとすることができる。

【0056】ウエハステージ5は、XガイドバーXGとの間にZ方向に所定量のギャップを維持する磁石およびアクチュエータからなる磁気ガイドを介して、XガイドバーXGにX方向に相対移動自在に非接触で支持・保持されている。また、ウエハステージ5は、XガイドバーXGに埋設された固定子35aを有するXリニアモータ35による電磁氣的相互作用によりX方向に駆動される。なお、Xリニアモータの可動子は図示していないが、ウエハステージ5に取り付けられている。

【0057】ウエハステージ5の上面には、ウエハホルダ41を介してウエハWが真空吸着等によって固定される(図1参照、図5では図示略)。また、ウエハステージ5のX方向の位置は、投影光学系PLの鏡筒下端に固定された参照鏡42を基準として、ウエハステージ5の一部に固定された移動鏡43の位置変化を計測するレーザ干渉計44によって所定の分解能、例えば0.5~1nm程度の分解能でリアルタイムに計測される。なお、上記参照鏡42、移動鏡43、レーザ干渉計44とはほ

直交するように配置された不図示の参照鏡、レーザ干渉計および移動鏡48(図5参照)によってウエハステージ5のY方向の位置が計測される。なお、これらレーザ干渉計の中、少なくとも一方は、測長軸を2軸以上有する多軸干渉計であり、これらレーザ干渉計の計測値に基づいてウエハステージ5(ひいてはウエハW)のXY位置のみならず、 $\theta$ 回転量あるいはこれらに加え、レベリング量をも求めることができるようになっている。

【0058】また、XガイドバーXGの-X方向側には、ボイスコイルモータで構成されたXトリムモータ(反力伝達装置)34の可動子34aが取り付けられている。Xトリムモータ34は、Xリニアモータ35の固定子としてのXガイドバーXGとリアクションフレーム8との間に介装され、その固定子34bはリアクションフレーム8に設けられている。このため、ウエハステージ5をX方向に駆動する際の反力は、Xトリムモータ34によりリアクションフレーム8に伝達され、さらにリアクションフレーム8を介してベースプレート10に伝達される。

【0059】さらに、投影光学系PLのフランジ23には、異なる3カ所に3つのレーザ干渉計45が、ウエハ定盤6とのZ方向の相対位置を検出するための検出装置として固定されている(ただし、図1においてはこれらのレーザ干渉計のうち1つが代表的に示されている)。各レーザ干渉計45に対向する鏡筒定盤25の部分には、開口25aがそれぞれ形成されており、これらの開口25aを介して各レーザ干渉計45からZ方向のレーザビーム(測長ビーム)がウエハ定盤6に向けて照射される。ウエハ定盤6の上面の各測長ビームの対向位置には、反射面がそれぞれ形成されている。このため、上記3つのレーザ干渉計45によってウエハ定盤6の異なる3点のZ位置がフランジ23を基準としてそれぞれ計測される(ただし、図1においては、ウエハステージ5上のウエハWの中央のショット領域が投影光学系PLの光軸の直下にある状態が示されているため、測長ビームがウエハステージ5で遮られた状態になっている)。なお、ウエハステージ5の上面に反射面を形成して、この反射面上の異なる3点のZ方向位置を投影光学系PLまたはフランジ23を基準として計測する干渉計を設けてもよい。

【0060】また、上述したように、レチクル定盤3、鏡筒定盤25、ウエハ定盤6には、それぞれ各定盤のZ方向の振動を計測する3つの加速度計75、73、74が振動センサ群として取り付けられているが、さらに、各定盤にはXY面内方向の振動を計測する3つの振動センサ(例えば加速度計;不図示)がそれぞれ取り付けられている。これらの振動センサのうち2つは、各定盤のY方向の振動を計測し、残りの振動センサはX方向の振動を計測するものである(以下、便宜上これらの振動センサを振動センサ群77と称する;図6参照)。そして、

これらの加速度計73~75、振動センサ群77の計測値に基づいて、主制御装置70がレチクル定盤3、ウエハ定盤6、鏡筒定盤25の6自由度(X、Y、Z、 $\theta X$ 、 $\theta Y$ 、 $\theta Z$ )の振動をそれぞれ求めることができる構成になっている。

【0061】図6に露光装置1の制御系を示す。この図に示すように、位置センサ、加速度計、振動センサ群、レーザ干渉計の各種計測装置の計測結果は主制御装置70に出力される。そして、主制御装置70は、これら計測装置の計測結果に基づいて各種演算処理を行い、その結果に基づきレチクル駆動用リニアモータ、ウエハ駆動用リニアモータ、ウエハ駆動用トリムモータ、可動レチクルブラインド駆動用アクチュエータ、防振ユニット等を統括的に制御する。また、主制御装置70には、ウエハ定盤6の振動パターン(振動特性)をマップとして記憶する記憶装置76が付設されている。

【0062】次に、上記のように構成されたステージ装置および露光装置による露光処理の動作について説明する。まず、露光処理に先立って、ウエハステージ5の位置に応じたウエハ定盤6の振動特性を求めるとともに、ウエハステージ5の位置に応じたステージ装置7の重心位置と慣性主軸とを求める。ウエハ定盤6の振動特性を求めるには、ウエハステージ5を例えばウエハ定盤6上の-X側端部近傍、中央部近傍、+X側端部近傍(それぞれ図1中、右側、中央、左側)に位置させる。そして、その位置でウエハステージ5を移動させ、この移動に伴う振動を加速度計74および振動センサ群77により検出して記憶装置76に記憶する。

【0063】このときに検出される回転方向成分の加速度出力を図7に示す。図7(a)はウエハ定盤6の-X側で検出された加速度出力であり、(b)は中央部で検出された加速度出力であり、(c)は+X側で検出された加速度出力である。主制御装置70は、得られた加速度の出力パターンを相殺(減衰)する加速度出力パターン(推力パターン)のマップと、ウエハステージ5の位置に応じた補正係数とを設定し記憶装置76に記憶する。なお、マップ設定の際のウエハステージ5の移動パターンは実露光時に行われる行程と同一で実行する。

【0064】また、ステージ装置7における重心位置と慣性主軸とを求めるには、ウエハステージ5を前述の-X側端部近傍、中央部近傍、+X側端部近傍のそれぞれの位置で停止させるとともに、例えば主制御装置70が防振ユニット29のボイスコイルモータ31を駆動してウエハ定盤6にインパルス波形のダミー振動を与える。この振動を振動センサ群77と加速度計74とが検出した結果に基づいて、主制御装置70が所定の演算シーケンスを実行することで、ウエハステージ5の位置に応じたステージ装置7の慣性系における重心位置と慣性主軸とを求めて同定することができる。そして、上記の同定処理により、この重心位置Pと慣性主軸と、 $\eta$ 、 $\xi$ とを求

めることができる。なお、ウエハ定盤6に対する加振は、ボイスコイルモータの駆動ではなく、ウエハステージ5の駆動で行ってもよい。また、ウエハステージ5の測定箇所は前述の3箇所だけではなく任意の位置で求めることができる。

【0065】このように、推力マップ、重心位置、および慣性系の慣性主軸を求めた後に、露光処理を実施する。ここでは、予め、ウエハW上のショット領域を適正露光量（目標露光量）で走査露光するための各種の露光条件が設定されているものとする。そして、いずれも不図示のレチクル顕微鏡およびオフアキシス・アライメントセンサ等を用いたレチクルアライメント、ベースライン計測等の準備作業が行われ、その後アライメントセンサを用いたウエハWのファインアライメント（EGA；エンハンスド・グローバル・アライメント等）が終了し、ウエハW上の複数のショット領域の配列座標が求められる。

【0066】このようにして、ウエハWの露光のための準備動作が完了すると、アライメント結果に基づいてレーザ干渉計44の計測値をモニタしつつ、リニアモータ33、35を制御してウエハWの第1ショットの露光のための走査開始位置にウエハステージ5を移動する。そして、リニアモータ15、33を介してレチクルステージ2とウエハステージ5とのY方向の走査を開始し、両ステージ2、5がそれぞれの目標走査速度に達すると、可動レチクルブラインド62で設定された照明光学系1Uからの露光用照明光により、レチクルR上の所定の矩形形状の照明領域が均一な照度で照明される。この照明領域に対してレチクルRがY方向に走査されるのに同期して、この照明領域と投影光学系PLに関して共役な露光領域に対してウエハWを走査する。

【0067】ここで、可動レチクルブラインド62においては、可動ブレードを移動させることで、露光前等の露光を実施しないときに照明光を遮光し、両ステージ2、5、すなわちレチクルRおよびウエハWが露光位置へそれぞれ到達して露光を実施するときに開口を形成し所定の照明領域を設定する。これにより、光源LSから照射された照明光は可動ブレードの開口で設定された矩形形状の領域でレチクルRを照明する。

【0068】そして、レチクルRのパターン領域を透過した照明光が投影光学系PLにより1/4倍に縮小され、レジストが塗布されたウエハW上に照射される。そして、ウエハW上の露光領域には、レチクルRのパターンが逐次転写され、1回の走査でレチクルR上のパターン領域の全面がウエハW上のショット領域に転写される。この走査露光時には、レチクルステージ2のY方向の移動速度と、ウエハステージ5のY方向の移動速度とが投影光学系PLの投影倍率（1/5倍あるいは1/4倍）に応じた速度比に維持されるように、リニアモータ15、33を介してレチクルステージ2およびウエハス

テージ5を同期制御する。

【0069】レチクルステージ2の走査方向の加減速時の反力は、固定子20の移動により吸収され、ステージ装置4における重心の位置がY方向において実質的に固定される。また、レチクルステージ2と固定子20とレチクル定盤3との3者間の摩擦が零でなかったり、レチクルステージ2と固定子20との移動方向が僅かに異なる等の理由で、レチクル定盤3の6自由度方向の微少な振動が残留した場合にも、振動センサ群77や加速度計75の計測値に基づいて上記残留振動を除去すべく、エアマウント12およびボイスコイルモータ13をフィードバック制御する。

【0070】また、鏡筒定盤25においては、レチクルステージ2、ウエハステージ5の移動による微振動が発生しても、主制御装置70が鏡筒定盤25に設けられた振動センサ群77や加速度計73の計測値に基づいて6自由度方向の振動を求め、エアマウント26およびボイスコイルモータ27をフィードバック制御することによりこの微振動をキャンセルして、鏡筒定盤25を定常的に安定した位置に維持することができる。

【0071】同様に、ステージ装置7では、主制御装置70がレーザ干渉計44等の計測値に基づいて、ウエハステージ5の移動に伴う重心の変化による影響をキャンセルするカウンターフォースを防振ユニット29に対してフィードフォワードで与え、この力を発生するようにエアマウント30およびボイスコイルモータ31を駆動する。また、ウエハステージ5とウエハ定盤6との摩擦が零でない等の理由で、ウエハ定盤6の6自由度方向の微少な振動が残留した場合にも、振動センサ群77や加速度計74の計測値に基づいて上記残留振動を除去すべく、エアマウント30およびボイスコイルモータ31をフィードバック制御する。このボイスコイルモータ31の駆動に関して主制御装置70は、予め検出したウエハステージ5の位置に応じた重心位置および慣性系の慣性主軸の座標系における推力に変換してボイスコイルモータ31を駆動する。これにより、ウエハ定盤6に対しては設計値ではなく、真の慣性主軸の座標系における適切な推力が付与され、より正確で効果的な制振を実施できる。

【0072】さらに、ボイスコイルモータ31の駆動に際して主制御装置70は、記憶装置76に記憶されている加速度出力パターンのマップに対して、ウエハ定盤6におけるウエハステージ6の位置に応じて補正係数で補正し、この補正したマップに基づいてボイスコイルモータ31を駆動する。また、ボイスコイルモータ31を駆動してもさらに残留振動が存在する場合は、この残留振動を減衰させるように補正係数を設定してマップに基づいた推力をボイスコイルモータ31を駆動させる。このときの制御ループを図9に示す。このように、予め検出したマップと補正係数とを用いて、ステージ装置7にお

けるボイスコイルモータ31の推力をフィードフォワードで推力指令値として出力しているため、残留振動を短時間で効果的に減衰できる。

【0073】なお、加速度出力パターンのマップは、必ずしも露光処理前に作成する必要はなく、実機におけるウエハステージ5の駆動に基づいて作成されるのであれば、プロセス処理中に作成して、随時更新するような構成としてもよい。例えば、露光処理中に、図7(a)において二点鎖線で示す加速度出力が得られた場合は、出力差 $\epsilon$ を用いてマップを修正すればよい。また、ステージ装置7(ウエハ定盤6)に関して、マップを用いた推力調整について説明したが、レチクル定盤3や鏡筒定盤25に対しても、予めマップを作成し、マップと補正係数とを用いてレチクルステージ2やウエハステージ5の位置に応じてボイスコイルモータの推力を調整することができる。

【0074】さらに、ステージ移動に伴う振動制御および露光処理制御について詳述する。上記レチクルステージ2およびウエハステージ5の移動によりリアクションフレーム8に振動が発生する可能性がある。特に、ウエハステージ5のX方向の移動に伴う反力は、Xトリムモータ34を介してリアクションフレーム8に伝達されるため、リアクションフレーム8の残留振動により支持コラム9を介して第2照明光学系IU2が第1照明光学系IU1に対して振動(相対移動)する可能性がある。また、レチクルRへの照明領域設定のために可動レチクルブラインド62がアクチュエータ63を介して駆動されると、この駆動に伴い発生した振動により、第1照明光学系IU1が第2照明光学系IU2に対して振動(相対移動)する可能性がある。

【0075】このとき、主制御装置70は、位置センサ66が検出した可動レチクルブラインド62と第2照明光学系IU2との相対距離に応じて、アクチュエータ63を介して可動ブレードをX方向およびY方向のそれぞれに関して移動させる。これにより、第1照明光学系IU1と第2照明光学系IU2とが相対移動するような振動が発生した場合でも、可動レチクルブラインド62と第2照明光学系IU2との相対位置関係、すなわちレチクルRに対する照明領域が変動することなく所定位置に維持される。なお、可動レチクルブラインド62をZ方向に移動させるアクチュエータを設け、Z方向に関する相対位置関係を補正するようにしてもよい。

【0076】また、投影光学系PLの微振動等により、光学系69が投影光学系PL(の光軸)に対して傾く(チルト)場合がある。この場合、レチクルRを透過した露光光は、光学系69を透過することにより、光学系69の傾きに依りて投影光学系PLの光軸に対して傾いた平行光束で入射する。この結果、レチクルRのパターン像は、ウエハW上で所定位置からシフトした位置で結像することになる。そのため、主制御装置70は、加速

度計72が計測した光学系69と投影光学系PLとの相対的な傾きから、ウエハW上に結像するパターン(の)シフト量を算出し、このシフト量を補正するようにレチクルステージ2を駆動する。具体的には、レチクルステージ2に対する駆動量に対して、シフト量に対応するオフセット値を持たせる。これにより、ウエハW上に結像するパターン像位置が所定位置に補正される。なお、光学系69と投影光学系PLとの相対位置関係を計測する手段としては加速度計の他に、レーザ干渉計等、相対距離を計測する計測装置を用いてもよい。また、ウエハW上に結像するパターン(の)シフト量を補正するためには、レチクルステージ2の駆動量にオフセット値を持たせる他に、ウエハステージ5の駆動量にシフト量に対応するオフセット値を持たせてもよい。

【0077】また、上記走査露光に関しては鏡筒定盤25とウエハ定盤6とを、すなわち投影光学系PLとウエハWとを速度制御系により追従させている。この制御ループを図10に示す。この図において符号S1は投影光学系PL(すなわち鏡筒定盤25、防振ユニット24)に関する制御ループ(制御系)であり、符号S2はウエハW(すなわちウエハ定盤6、防振ユニット29)に関する制御ループ(制御系)である。また、制御系S1における二点鎖線は、鏡筒定盤25、防振ユニット24を示すプラント部であり、制御系S2における二点鎖線は、ウエハ定盤6、防振ユニット29を示すプラント部である。

【0078】この図に示すように、制御系S1は、加速度計73の検出した加速度を積分(演算処理)して得られる速度による速度サーボを形成する速度制御ループSR1をマイナーループとし、位置センサ78の計測結果に基づいて速度制御ループSR1を制御する位置制御ループPR1をメインループとするカスケード型の制御系で構成されている。同様に、制御系S2は、加速度計74の検出した加速度を積分して得られる速度による速度サーボを形成する速度制御ループSR2をマイナーループとし、レーザ干渉計45の計測結果に基づいて速度制御ループSR2を制御する位置制御ループPR2をメインループとするカスケード型の制御系で構成されている。なお、上記速度制御ループでは主に10~20Hzの高周波領域の振動を制振し、位置制御ループでは例えば0.1Hz程度の低周波領域の振動を制振している。

【0079】そして、本実施の形態では、制御系S1内の速度制御ループSR1における加速度を制御系S2内の速度制御ループSR2に出力している。制御系S2では、ウエハ定盤6の加速度と鏡筒定盤25の加速度との差、すなわち相対加速度を積分して得られる相対速度による速度サーボを行う。これにより、ウエハ定盤6は鏡筒定盤25に対して速度制御の下で追従駆動される。換言すると、ウエハWが投影光学系PLに対して追従するように同期駆動される。

【0080】なお、投影光学系P<sub>L</sub>とウエハWとの相対速度を検出する方法としては、加速度計73、74を用いることなく、投影光学系P<sub>L</sub>とウエハ定盤6との相対距離を検出するレーザ干渉計45の検出結果を微分(演算処理)しても求めることができる。このときの制御ループを図11に示す。この図に示すように、制御系S2では、レーザ干渉計45の検出した相対距離を微分することで求めた相対速度により速度制御を実施できる。

【0081】以上説明したように、本実施の形態のステージ装置および露光装置では、鏡筒定盤25に加わる加速度とウエハ定盤6に加わる加速度、すなわち投影光学系P<sub>L</sub>に加わる加速度とウエハWに加わる加速度とに基づいて検出したこれらの相対速度による速度制御を行い、光軸方向においてウエハWを投影光学系P<sub>L</sub>に追従させているので、何らかの理由で投影光学系P<sub>L</sub>が振動した場合でも投影光学系P<sub>L</sub>とウエハWとを光軸方向で同期させることができ、これらの相対位置関係を維持することができる。そのため、レチクルR上のパターンをウエハW上に露光形成する場合でも、常に投影光学系P<sub>L</sub>の焦点位置をウエハWの所定位置(レジスト塗布面)に維持することができ、像ボケ等の発生を防止して露光精度の向上を図ることができる。なお、この相対速度としては、レーザ干渉計45の計測結果により求めた投影光学系P<sub>L</sub>とウエハ定盤6との相対距離を微分処理して得た場合でも同様の効果を得ることができる。

【0082】また、本実施形態のステージ装置の制振方法では、ウエハ定盤6が加振された際の重心位置および慣性主軸を求め、この重心位置および慣性主軸に基づいて定盤に付与する推力を補正しているため、真の慣性系に応じた適切な推力を付与することができ、正確で効果的な制振(短時間の振動減衰)を実施できる。また、シミュレーションにより装置の重心位置および慣性主軸を求めて振動制御を行っても上記と同様に正確な制振を実施できるが、特に、本実施の形態では設計値による計算ではなく、実機においてウエハ定盤6に振動を与えることで重心位置および慣性主軸を求めているので、より正確な制振が可能になる。

【0083】本実施の形態においては、ウエハ定盤6に対するウエハステージ5の位置に応じて重心位置と慣性主軸とをそれぞれ検出しているため、ウエハステージ5がスキャン動作またはステップ動作で移動した際にも、ウエハ定盤6に付与する推力をその都度正確な重心位置および慣性主軸の座標系に変換して求めることができ、より正確で効果的な制振を実施することができる。また、ウエハ定盤6に対して推力を付与する方向としては、Z方向に沿う方向の他に、重心位置に向かう方向であってもよい。この場合、推力付与に際して回転モーメントが発生しないので、より安定した短時間での制振が可能になる。

【0084】さらに、本実施の形態では、ウエハ定盤6

の振動特性を予めマップとして記憶しておき、このマップとウエハステージ5の位置に応じた補正係数とを用いて、ステージ装置7におけるボイスコイルモータ31の推力をフィードフォワードで推力指令値として出力しているため、残留振動を効果的に減衰させることができ、整定までに要する時間を短くすることができる。しかも、このマップは、実機においてウエハステージ5を駆動して求めているので、計算や実験で求めた場合のように補正項を考慮する必要がなく、実機に即したより正確な振動特性を記憶することができる。

【0085】また、本実施の形態では、可動レチクルブラインド62をリアクションフレーム8と振動的に独立して配置しているため、ブレード駆動に伴う振動がリアクションフレーム8を介して投影光学系P<sub>L</sub>やレチクルR、ウエハWに伝わることを防止でき、これらの振動に起因するパターン転写位置のずれや像ボケ等の発生を効果的に防止して露光精度の向上を図ることができる。また、レチクルステージ2やウエハステージ5の駆動に伴う振動や可動レチクルブラインド62の駆動に伴う振動により、第1照明光学系IU1と第2照明光学系IU2に対して相対移動)する可能性があるが、本実施の形態では、可動レチクルブラインド62と第2照明光学系IU2との相対距離に応じて可動ブレードをX方向およびY方向のそれぞれに関して移動させているため、レチクルRに対する照明領域を所定位置に維持することができ、ウエハW上に露光形成されるパターンの位置精度や重ね合わせ精度の低下を未然に防ぐことができる。さらに、本実施の形態では、可動ブレードの位置を2次元平面内で調整しているため、第1照明光学系IU1と第2照明光学系IU2との相対移動が2次元的に発生した場合でも対処することができる。

【0086】さらに、本実施の形態では、光学系69と投影光学系P<sub>L</sub>との相対的な傾きからウエハW上に結像するパターンのシフト量を算出し、このシフト量を補正するようにレチクルステージ2の駆動量を補正しているため、光学系69の位置誤差に起因するウエハW上のパターン位置ずれを防止することができ、露光精度の向上に寄与することができる。

【0087】なお、上記実施の形態において、ウエハステージ5の移動に伴いXガイドバーXGに加わる反力をリアクションフレーム8に伝達するためのXトリムモータ34としてボイスコイルモータを用いる構成としたが、この構成に限定されるものではなく、E型コアとI型コアとの結合によるE型コアを設置してもよい。この場合、E型コアとI型コアとの一方をXガイドバーXG側に配置し、他方をリアクションフレーム8側に配置すればよく、ムービングコイル型でもムービングマグネット型でもいずれの方式でも適用可能である。ムービングマグネット型であれば、移動するXガイドバーXGに対する配線が不要になり、装置構成の簡素化および配線を

伝わる振動の悪影響を排除できる。ムービングコイル型であれば、コイルに対して通電する領域が小さくすむので、通電により発生する熱の影響を抑制することができる。

【0088】EIコアは、ボイスコイルモータと比較して1.5倍程度の推力を出力することができる。そのため、Xトリムモータ34としてEIコアを設けることで、同じ推力を出力するボイスコイルモータの2/3程度の大きさで済み、装置の小型化を実現することができる。特に、XガイドバーXGに加わる反力は、1000Nにもなるので、この反力を伝達できるだけの推力を出力するモータとして、この大きさの差は装置全体の小型化に大きく寄与することになる。

【0089】なお、Xトリムモータ34は、XガイドバーXGのX方向の位置Pを調整するものなので、EIコアにおいてはE型コアとI型コアとの間の相対位置を厳密に制御する必要がある。ここで、EIコアが十分な推力を出力するには、E型コアとI型コアとの間の相対位置を所定範囲内に規制する必要があるため、この相対位置関係を計測する計測装置を設けることが望ましい。この場合、主制御装置70は、計測したE型コアとI型コアとの間の相対位置に基づいてバイアス電流を制御することで、この相対位置を所定範囲内に維持することができる。結果としてXガイドバーXGに加わる反力に対抗するために十分な推力を常に出力することができる。

【0090】なお、上記実施の形態では、本発明のステージ装置を露光装置1に適用する構成としたが、これに限定されるものではなく、露光装置1以外にも転写マスクの描画装置、マスクパターンの位置座標測定装置等の精密測定機器にも適用可能である。また、上記実施の形態において、リニアモータ15、33をムービングコイル型としたが、ムービングマグネット型にしてもよいことはいうまでもない。

【0091】なお、本実施の形態の基板としては、半導体デバイス用の半導体ウエハWのみならず、液晶ディスプレイデバイス用のガラス基板や、薄膜磁気ヘッド用のセラミックウエハ、あるいは露光装置で用いられるマスクまたはレチクルの原版（合成石英、シリコンウエハ）等が適用される。

【0092】露光装置1としては、レチクルRとウエハWとを同期移動してレチクルRのパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（スキャニング・ステッパー；USP5,473,410）の他に、レチクルRとウエハWとを静止した状態でレチクルRのパターンを露光し、ウエハWを順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（ステッパー）にも適用することができる。

【0093】露光装置1の種類としては、ウエハWに半導体デバイスパターンを露光する半導体デバイス製造用の露光装置に限られず、液晶表示素子製造用の露光装置

や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCD）あるいはレチクルなどを製造するための露光装置などにも広く適用できる。

【0094】また、露光用照明光の光源として、超高圧水銀ランプから発生する輝線（g線（436nm）、h線（404.7nm）、i線（365nm））、KrFエキシマレーザ（248nm）、ArFエキシマレーザ（193nm）、F<sub>2</sub>レーザ（157nm）のみならず、X線や電子線などの荷電粒子線を用いることができる。例えば、電子線を用いる場合には電子銃として、熱電子放射型のランタンヘキサボライト（LaB<sub>6</sub>）、タングステン（Ta）を用いることができる。さらに、電子線を用いる場合は、レチクルRを用いる構成としてもよいし、レチクルRを用いずに直接ウエハ上にパターンを形成する構成としてもよい。また、YAGレーザや半導体レーザ等の高周波などを用いてもよい。

【0095】投影光学系PLの倍率は、縮小系のみならず等倍系および拡大系のいずれでもよい。また、投影光学系PLとしては、エキシマレーザなどの遠紫外線を用いる場合は硝材として石英や螢石などの遠紫外線を透過する材料を用い、F<sub>2</sub>レーザやX線を用いる場合は反射屈折系または屈折系の光学系にし（レチクルRも反射型タイプのものを用いる）、また電子線を用いる場合には光学系として電子レンズおよび偏向器からなる電子光学系を用いればよい。なお、電子線が通過する光路は、真空状態にすることはいうまでもない。また、投影光学系PLを用いることなく、レチクルRとウエハWとを密接させてレチクルRのパターンを露光するプロキシミティ露光装置にも適用可能である。

【0096】ウエハステージ5やレチクルステージ2にリニアモータ（USP5,623,853またはUSP5,528,118参照）を用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクシンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、各ステージ2、5は、ガイドに沿って移動するタイプでもよく、ガイドを設けないガイドレスタイプであってもよい。

【0097】各ステージ2、5の駆動機構としては、二次元に磁石を配置した磁石ユニット（永久磁石）と、二次元にコイルを配置した電機子ユニットとを対向させ電磁力により各ステージ2、5を駆動する平面モータを用いてもよい。この場合、磁石ユニットと電機子ユニットとのいずれか一方をステージ2、5に接続し、磁石ユニットと電機子ユニットとの他方をステージ2、5の移動面側（ベース）に設ければよい。

【0098】以上のように、本願実施形態の露光装置1は、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成する

ための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0099】半導体デバイスは、図12に示すように、デバイスの機能・性能設計を行うステップ201、この設計ステップに基づいたマスク（レチクル）を製作するステップ202、シリコン材料からウエハを製造するステップ203、前述した実施形態の露光装置1によりレチクルのパターンをウエハに露光するウエハ処理ステップ204、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）205、検査ステップ206等を経て製造される。

【0100】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1に係るステージ装置の制振方法は、定盤を加振した際に検出される重心位置と慣性主軸とに基づいて、定盤に付与する推力を補正する手順となっている。これにより、このステージ装置の制振方法では、設計値ではなく真の慣性系に応じた適切な推力を付与することができ、短時間で正確な制振を実施できるという効果が得られる。

【0101】請求項2に係るステージ装置の制振方法は、ステージ本体を駆動して定盤を加振する手順となっている。これにより、このステージ装置の制振方法では、設計値ではなく、ステージ本体駆動の際の、真の慣性系に応じた適切な推力を付与することができ、短時間でより正確な制振を実施できるという効果が得られる。

【0102】請求項3に係るステージ装置の制振方法は、定盤に対するステージ本体の位置に応じた重心位置と慣性主軸とを検出する手順となっている。これにより、このステージ装置の制振方法では、ステージ本体の移動に伴って重心位置および慣性主軸が移動しても、その都度、より正確で効果的な制振を実施できるという効果が得られる。

【0103】請求項4に係るステージ装置は、定盤が加振された際のステージ装置における重心位置と慣性主軸とに基づいて定盤に付与する推力を補正する構成となっている。これにより、このステージ装置では、設計値ではなく真の慣性系に応じた適切な推力を付与することができ、短時間で正確な制振を実施できるという効果が得られる。

【0104】請求項5に係るステージ装置は、推力が重

心位置に向けて付与される構成となっている。これにより、このステージ装置では、推力付与に際して回転モーメントが発生せず、より安定した短時間での制振が可能になるという効果を奏する。

【0105】請求項6に係るステージ装置は、ステージ本体の移動により固定子に発生する反力を支持部に伝達する反力伝達装置がE型コアとI型コアとの結合によるEIコアを有する構成となっている。これにより、このステージ装置では、装置の小型化を実現できるという効果が得られる。

【0106】請求項7に係るステージ装置は、E型コアとI型コアとの相対位置に基づいてEIコアの駆動を制御する構成となっている。これにより、このステージ装置では、固定子に加わる反力に対向するために充分な推力を常に出力できるという効果を奏する。

【0107】請求項8に係るステージ装置は、ステージ本体の位置に応じて記憶された定盤の振動特性に基づいて推力付与装置の駆動を制御する構成となっている。これにより、このステージ装置では、残留振動を効果的に減衰させることができ、整定までに要する時間を短くできるという効果が得られる。

【0108】請求項9に係るステージ装置は、ステージ本体が駆動された際の定盤の振動特性を記憶する構成となっている。これにより、このステージ装置では、計算や実験で求めた場合のように補正項を考慮する必要がなく、実機に即したより正確な振動特性を記憶できるという効果を奏する。

【0109】請求項10に係る露光装置は、マスクステージと基板ステージとの少なくとも一方のステージとして、請求項4から請求項9のいずれか1項に記載されたステージ装置が用いられる構成となっている。これにより、この露光装置では、マスクまたは基板を移動させた際にも、整定に要する時間が短くなり生産効率が向上するとともに、正確な制振により露光精度が向上するという効果を奏する。

【0110】請求項11に係る露光装置は、投影光学系の光軸方向に関する投影光学系と基板との相対速度に基づいて少なくとも基板を投影光学系に対して光軸方向に従動駆動させる構成となっている。これにより、この露光装置では、これらの相対位置関係を維持することができるため、常に投影光学系の焦点位置を基板上の所定位置に維持することができ、像ボケ等の発生を効果的に防止して露光精度の向上を図ることができる。

【0111】請求項12に係る露光装置は、検出装置が投影光学系に加わる加速度と基板に加わる加速度とを演算処理して相対速度を検出する構成となっている。これにより、この露光装置では、加速度計を用いた際にも、常に投影光学系の焦点位置を基板上の所定位置に維持することができ、像ボケ等の発生を効果的に防止して露光精度の向上を図ることができる。

【0112】請求項13に係る露光装置は、検出装置が光軸方向における投影光学系と基板との相対位置を演算処理して相対速度を検出する構成となっている。これにより、この露光装置では、レーザ干渉計等により投影光学系と基板との相対位置を検出した際にも、常に投影光学系の焦点位置を基板上の所定位置に維持することができ、像ボケ等の発生を効果的に防止して露光精度の向上を図ることができる。

【0113】請求項14に係る露光装置は、検出装置が定盤を介して相対速度を検出する構成となっている。これにより、この露光装置では、光軸と直交する方向で定盤がほぼ静止しており、また基板に比較して大面積であるため、相対速度を容易に検出できるという効果を奏する。

【0114】請求項15に係る露光装置は、マスクと基板とを走査してパターンを基板に露光する走査型露光装置である構成となっている。これにより、この露光装置では、マスクと基板とを走査した際にも、整定に要する時間が短くなり生産効率が向上するとともに、正確な制振により露光精度が向上するという効果を奏する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の露光装置の概略構成図である。

【図2】 第2照明光学系がリアクションフレームに支持された露光装置の概略構成図である。

【図3】 照明光学系を構成する可動レチクルブラインドの平面図である。

【図4】 同露光装置を構成するレチクルステージの外観斜視図である。

【図5】 同露光装置を構成するウエハ側ステージ装置の外観斜視図である。

【図6】 露光装置の制御系を示す制御ブロック図である。

【図7】 (a)～(c)は、ウエハ定盤の加速度計の出力軌跡をそれぞれ示す図である。

【図8】 露光装置における重心位置および慣性主軸を説明するための図である。

【図9】 マップを用いた振動制御の制御ループを示す図である。

【図10】 投影光学系とウエハとを速度制御下で追従駆動させるための制御ループを示す図である。

【図11】 投影光学系とウエハとを速度制御下で追従駆動させるための制御ループを示す図である。

【図12】 半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャート図である。

#### 【符号の説明】

I U 照明光学系

I U 1 第1照明光学系(照明光学系)

I U 2 第2照明光学系(照明光学系)

P L 投影光学系

R レチクル(マスク)

W ウエハ(基板)

1 露光装置

2 レチクルステージ(マスクステージ)

5 ウエハステージ(基板ステージ、ステージ本体)

6 ウエハ定盤(定盤)

7 ステージ装置

8 リアクションフレーム(支持部)

3 1 ボイスコイルモータ(推力付与装置)

3 4 Xトリムモータ(反力伝達装置)

3 5 Xリニアモータ(駆動装置)

3 5 a 固定子

4 5 レーザ干渉計(検出装置、相対速度検出装置)

6 2 レチクルブラインド(照明領域設定装置)

6 6 位置センサ(検出装置、相対位置検出装置)

6 9 光学系

7 0 主制御装置(調整装置、制御装置、補正装置、駆動制御装置)

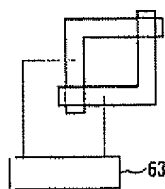
7 2 加速度計(計測装置、相対傾き計測装置)

7 3 加速度計(検出装置、相対速度検出装置)

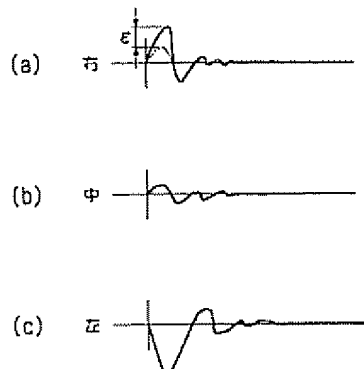
7 4 加速度計(検出装置、相対速度検出装置、振動検出装置)

7 6 記憶装置

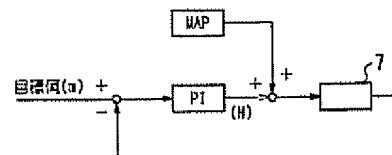
【図3】



【図7】

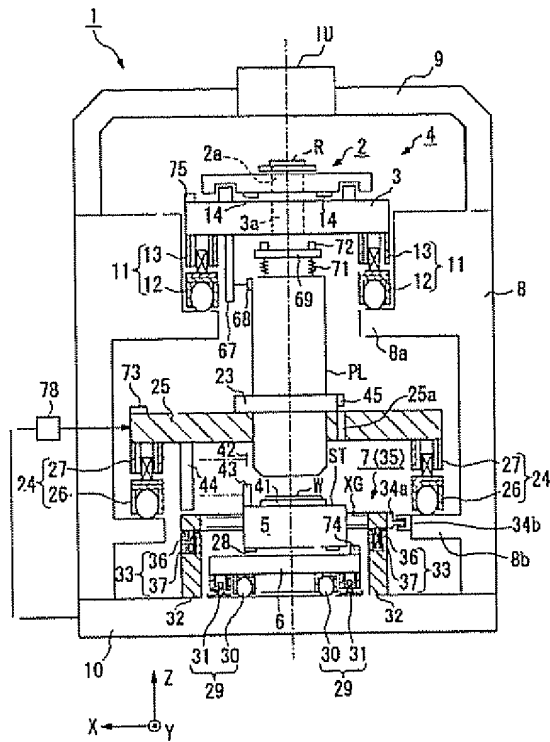


【図9】

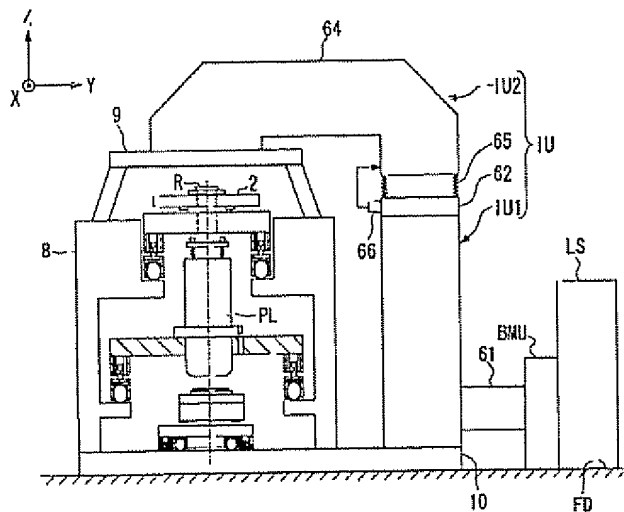




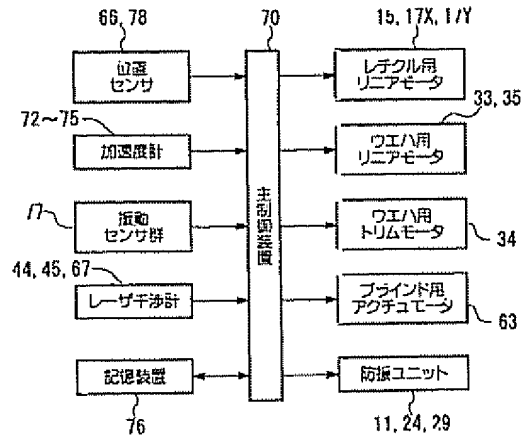
【図1】



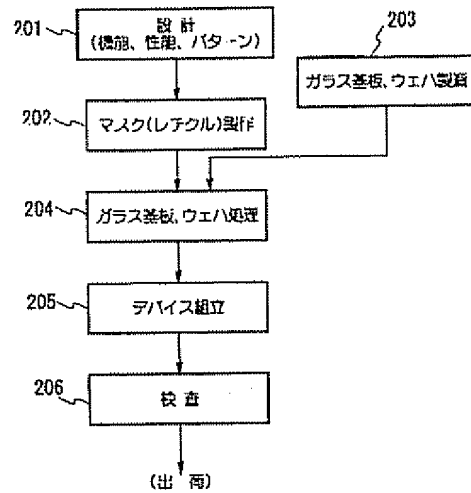
【図2】



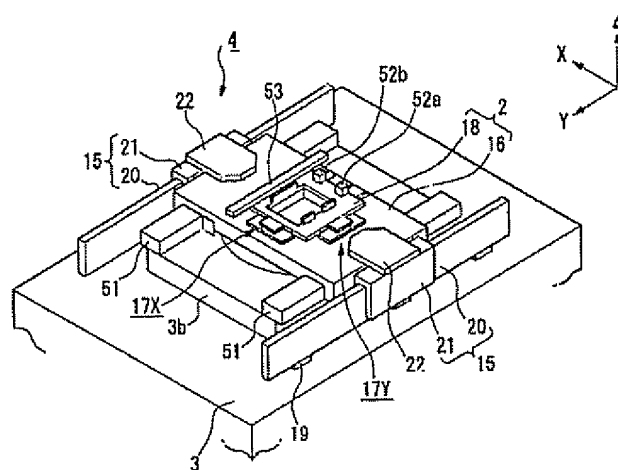
【図6】



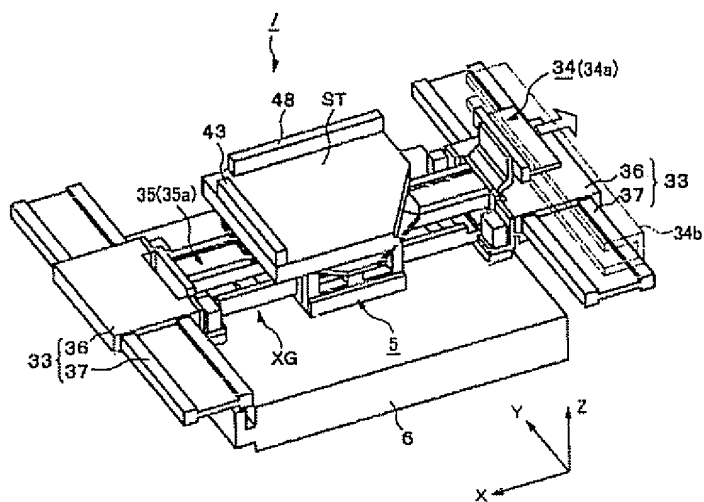
【図12】

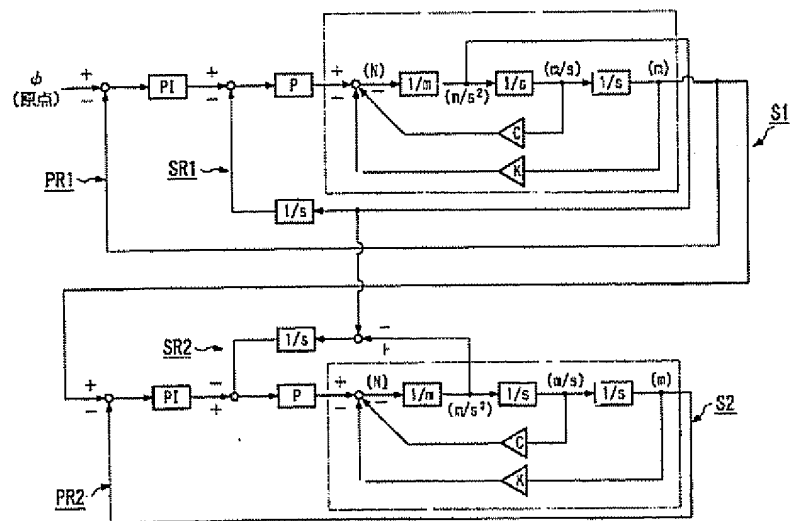


【図4】



【図5】





【図 11】

